

Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben zusammenarbeitender, unterschiedlicher Geräte

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betreiben zusammenarbeitender, auch unterschiedlicher Geräte mit diese durch Steuerungsabläufe steuernden unterschiedlichen Steuerungen, insbesondere mit unterschiedlichen Steuerungstakten.

Komplexe Anlagen, die eine Vielzahl zusammenarbeitender, unterschiedlicher Geräte umfassen, werden heutzutage vorzugsweise unter Verwendung PC-basierter Steuerungslösungen hinsichtlich einer Steuerung von Bewegungen (im Folgenden auch als "Motionwelt" oder "Bewegungswelt" bezeichnet) gesteuert. Dabei kann es sich bei den gemeinsam zu steuernden Geräten einer derartigen Anlage beispielsweise um CNC-Systeme (CNC: Computer Numeric Control), RC-Systeme (RC: Robot Controller) und/oder PLC-Systeme (PLC: Programmable Logic Control; auch SPS: speicherprogrammierbare Steuerung) handeln, wobei PLC und SoftPLC-Systeme gleich zu behandeln sind (SoftPLC/SoftSPS: eine softwaretechnisch ausgebildete PLC/SPS).

Bei komplexen Anlagenkonzepten, wie z.B. in der Laser-
Anlagentechnik, werden vielfältige Koordinierungsmöglich-
keiten zwischen Robotern, Spann- und Halteeinrichtungen,
5 Laser- und Liniensteuerungen benötigt. So werden beispiels-
weise die Geometrie-Stationen bei führenden Automobilher-
stellern über ein internes Protokoll einer ASCII-Schnitt-
stelle über externe Personalcomputer (PC) koordiniert, um
ein gleiches Zeitverhalten der Roboterwelt (RC-Kern), der
10 CNC-Spanntechnik sowie der Lasertechnik zu erreichen. Dabei
ist es notwendig, dass einzelne Zeitverhalten der verschie-
denen Motionwelten (RC, CNC, PLC) in einer speziell defi-
nierten ASCII-Datei über ein geeignetes Protokoll, wie
TCP/IP, an einen Koordinations-PC zu schicken, der die ge-
15 nannten drei Bewegungswelten hinsichtlich ihres Zeitverhal-
tens korrigiert und über das ASCII-file wieder an die ver-
schiedenen Steuerungen zurückschickt. Derartige Steuerungs-
verfahren bzw. -vorrichtungen sind hinsichtlich ihres Auf-
baus bzw. Ablaufes komplex und dementsprechend unflexibel.

20 Es ist bekannt, eine Mehrzahl von Instanzen (CPUs) vorzuse-
hen, von denen eine eine zentrale Instanz und die andere
dezentrale Instanzen sind. Jede Instanz hat ihre eigene
Einheit zur Taktgenerierung. Allerdings werden die Einhei-
25 ten der dezentralen Instanzen durch einen Synchronisations-
takt der zentralen Instanz synchronisiert, d.h. die dezen-
tralen Instanzen können nicht ihre Funktionsabläufe ent-
sprechend einem autonomen Takt unabhängig generieren, son-
dern der jeweils eigene Takt einer dezentralen Instanz wird
30 durch die von der zentralen Instanz ausgehenden Synchroni-
sation bestimmt bzw. die Taktung jeder dezentralen Instanz
durch den Synchronisationstakt der zentralen Instanz ge-
steuert.

geräte direkt durch das Synchronisationssignal der zentralen Einheit synchronisiert und bestimmt, so dass erstere nicht mehr mit unabhängiger Taktung arbeiten können.

5

Der Erfindung liegt zur Vermeidung der vorstehend genannten Nachteile die Aufgabe zugrunde, eine vereinfachte und flexiblere Koordination und Bewegungsplanung insbesondere bei komplexen Anlagen der eingangs genannten Art zu erreichen.

10

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass die Takte der unterschiedlichen Steuerungen auf einen gemeinsamen Systemtakt interpoliert werden und dass die Steuerungsabläufe in mindestens einer Synchronisationseinrichtung synchronisiert werden.

15

Entsprechend weist eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zur Lösung der Aufgabe mindestens eine gemeinsame Interpolationseinrichtung für die Steuerungen zum Interpolieren der Takte der unterschiedlichen Steuerungen auf einen gemeinsamen Systemtakt und mindestens eine Synchronisationseinrichtung zum Synchronisieren der Steuerungsabläufe auf.

20

Das Merkmal der Interpolation der Takte der Ausgangssteuerungen auf einen gemeinsamen Systemtakt beinhaltet, dass die von den einzelnen Ausgangssteuerungen in deren Takt berechneten Befehle zu den durch den höheren Systemtakt gegebenen Zwischentaktzeiten bestimmt, also oben interpoliert werden. Die Befehle oder Werte, wie ansteuerbare Positionswerte, werden also zu den Zwischenzeittakten des Motionmanagers berechnet und damit auf diese interpoliert. Hierauf aufbauend erfolgt dann die Synchronisation. Die Befehle werden dann jeweils in dem Takt der einzelnen Funktionseinheit an diese zur Ausführung des Befehls weitergegeben.

30

35

Auf diese Weise ergibt sich erfindungsgemäß eine einfache Bedienbarkeit auch komplexer Anlagen, wie z.B. in der vorstehend erwähnten Lasertechnik, wo Roboterbewegungen mit PLC-Bewegungen (z.B. einer Liniensteuerung) und Spanntechniken als Einheit koordiniert werden müssen. Die im Rahmen der Erfindung vorgesehene Koordinierungseinrichtung koordiniert das Zusammenspiel der einzelnen Achsen und Achshäufen. Unter Letzteren versteht man eine Gruppierung solcher Achsen, die über einen gemeinsamen Antriebstreiber, wie eine DPRAM-Schnittstelle (DPRAM: Dual-Port-Zufallszugriffsspeicher) getrieben werden, so dass alle in einem Achshaufen gebundenen Antriebe eine gleiche Konfiguration bezüglich Taktfrequenz und Protokoll besitzen.

In Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass Funktionseinheiten der Geräte nach erfolgter Synchronisierung nach einer weiteren Interpolation mit Steuersignalen versorgt werden. Es ist somit möglich, bestimmte Geräte der Anlage mit unterschiedlichen Takten zu betreiben, wenn dies beispielsweise aus Genauigkeits- und/oder Regelungsgründen erforderlich sein sollte. In Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist diese daher zumindest eine weitere Interpolationseinrichtung zum Interpolieren von Steuersignalen für Funktionseinheiten der Geräte nach erfolgter Synchronisierung auf.

Weiterhin kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass Achsen der Geräte koordiniert werden. Entsprechend weist eine bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine Koordinationseinrichtung zum Koordinieren der Steuerungsabläufe auf.

Um eine Echtzeitsteuerung der Anlage bzw. der Geräte zu ermöglichen ist vorgesehen, dass die Koordination und/oder

Synchronisation in Echtzeit durchgeführt wird. Zweckmäßig sind daher die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung echtzeitfähig ausgebildet. Weiterhin kann zu Bedien- und Konfigurationszwecken eine nicht-echtzeitfähige Komponente zum Verändern von Einstellungen der Synchronisations- und/oder Koordinationseinrichtung vorgesehen sein.

Da beispielsweise von einer Robotersteuerung (RC) über deren Interpolator wesentlich mehr koordinatenbezogene und roboterspezifische Informationen an die Koordinierungseinrichtung übertragen werden müssen als beispielsweise über eine einfachere SoftPLC bzw. deren Interpolator, ist im Rahmen einer äußerst bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass die unterschiedlichen Steuerungstakte IPO_i der unterschiedlichen Steuerungen gemäß einer Beziehung

$$IPO_i = n_i \cdot t_{\text{Tick}}, \quad n_i = 1, 2, 3, \dots$$

gewählt werden, wobei t_{Tick} ein ganzzahliges Vielfaches eines Taktes einer zur Durchführung des Verfahrens verwendeten Hardware ist. Ein solches Verfahren erlaubt verschiedene Regelalgorithmen für die verschiedenen Anwendungsfälle, wie Robotersteuerung, SoftPLC (Verpackungsindustrie oder Anlagentechnik) oder CNC-Anwendungen. Dabei erfolgt die erfindungsgemäße Interpolation auf einen gemeinsamen Systemtakt vorzugsweise in einer gemeinsamen Interpolationseinrichtung für alle Steuerungen. Im Rahmen einer äußerst bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die gemeinsame Interpolationseinrichtung entsprechend zum Interpolieren von Steuerungstakten der Form $IPO_i = n_i \cdot t_{\text{Tick}}$ mit $n_i = 1, 2, 3, \dots$ ausgebildet, wobei t_{Tick} ein ganzzahliges Vielfaches eines Taktes einer verwendeten Hardware ist.

In bevorzugter Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Koordinierungseinrichtung durch die Funktionseinheiten ein veränderter Systemtakt vorgeschlagen. Es ist auf diese Weise möglich, spezielle Regelverfahren, wie z.B. eine Stromregelung durchzuführen, die aufgrund einer erforderlichen Genauigkeit oder dergleichen ein kürzeres Taktsignal benötigen. Zweckmäßigerweise kann dabei die Koordinierungseinrichtung den vorgeschlagenen, veränderten Systemtakt ablehnen oder annehmen. Letzterer Fall wird insbesondere dann auftreten, wenn eine Belastung des Gesamtsystems durch den neuen Systemtakt tatsächlich verkraftbar ist: Je höher die Taktfrequenz, desto öfter müssen Regelschleifen im (Echtzeit-)Betriebssystem berechnet werden. In Weiterbildung kann vorgesehen sein, dass eine Anzahl von Funktionseinheiten nach erfolgter Taktänderung nach dem alten Systemtakt weiterbetrieben werden. Um dies zu ermöglichen, gilt für den veränderten Systemtakt zweckmäßiger Weise

20

$$t_{\text{Tick}}' = 1/n' \cdot t_{\text{Tick}}, \quad n' = 1, 2, 3, \dots$$

Dementsprechend ist erfindungsgemäß die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung vorzugsweise zum Verändern des Systemtaktes ausgebildet, wobei für den veränderten Systemtakt gilt: $t_{\text{Tick}}' = 1/n' \cdot t_{\text{Tick}}$, um so auf Anfrage durch wenigstens eine Funktionseinheit auch ein kürzeres Taktsignal verwenden zu können. In diesem Zusammenhang weist die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung in Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine Bestimmungseinrichtung zum Bestimmen einer Belastung des Systems auf, deren Ergebnisse für die Veränderungen des Systemtakts maßgeblich ist. Auf diese Weise sind erfindungsgemäß nur solche Takteinstellungen für das Gesamtsystem erlaubt, die durch dieses, insbesondere durch dessen

35

echtzeitfähige Bestandteile, auch tatsächlich verkraftet wird.

5 Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens werden vorzugsweise jeweils eine Mehrzahl von Geräten eines bestimmten Gerätetyps betrieben.

10 Im Rahmen einer einfachen und flexiblen Ausgestaltung und Einsetzbarkeit der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann weiterhin vorgesehen sein, dass zumindest die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung und eine Anzahl von Steuerungen als auf einer gemeinsamen Rechneinheit ausführbare Programmeinrichtungen ausgebildet sind. Dabei
15 kann insbesondere vorgesehen sein, dass zum Zwecke einer verbesserten Anpassbarkeit eine Anlage weitere Geräte während des Betriebs anschließbar sind.

Weitere Eigenschaften und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung. Es zeigt:
20

- Fig. 1 eine schematische Gesamtdarstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung;
- 25 Fig. 2 eine detailliertere Darstellung insbesondere eines echtzeitfähigen Bestandteils der erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß der Fig. 1; und
- 30 Fig. 3a, 3b eine Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Zwischeninterpolations-Verfahrens bzw. der Arbeit der Interpolationseinrichtungen des Motionmanagers; und

Fig. 4 eine detailliertere Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß der Fig. 1 und 2.

5 Die Fig. 1 zeigt die Gesamtarchitektur einer multifunktionalen PC-Steuerungsvorrichtung 1 für komplexe Anlagen mit einer Vielzahl zusammenarbeitender unterschiedlicher Geräte, wie Industrierobotern, Spannvorrichtungen, Laser-Schneidwerkzeugen, einer Förderlinie oder dergleichen (hier
10 nicht dargestellt); Datenübertragungen im Zuge von Steuerungsabläufe sind hier - wie auch in den folgenden Fig. 2 und 3 - als Doppelpfeile dargestellt.

Die gesamte erfindungsgemäße Vorrichtung 1 ist in Form
15 eines in geeigneter Weise programmtechnisch eingerichteten Personalcomputers PC ausgebildet, wie durch den vertikalen Balken links symbolisiert wird. Der PC weist zu Bedienungszwecken ein nicht-echtzeitfähiges Betriebssystem 2, wie Windows, und zu Steuerungszwecken ein echtzeitfähiges Betriebssystem 3, wie VxWorks, auf. Eine Kommunikation zwischen dem nicht echtzeitfähigen Betriebssystem 2 und dem
20 echtzeitfähigen Betriebssystem 3 wird mittels eines geeigneten Protokolls, wie eines TCP/IP-Protokolls 4, gewährleistet.

25 Auf der Ebene des nicht-echtzeitfähigen Betriebssystems 2 ist die PC-Steuerung zum Ausführen programmtechnisch eingerichteter Bedienprogramme, wie Entwicklungs- und Diagnose-Werkzeugen 2.1, ausgebildet. Bei diesen kann es sich beispielsweise um Programmierwerkzeuge handeln, mit denen sich
30 - wie in der Fig. 1 anhand vertikaler Pfeile angedeutet - auf eine Mensch-Maschinen-Schnittstelle 2.2 (Human Machine Interface HMI), einen SPS-Code 2.3, d.h. ein Steuerungsprogramm für eine ggf. softwaretechnisch ausgebildete PLC und
35 einen G-Code 2.4, d.h. ein CNC-Steuerprogramm eingewirkt

werden kann. Weiterhin weist sie eine Bestimmungseinrichtung 2.6 zum Bestimmen einer Auslastung ihrer Rechnerkapazitäten auf.

5 Im echtzeitfähigen Teil 3 der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 weist diese gemäß der Ausgestaltung der Fig. 1 eine Robotersteuerung RC 3.1, eine speicherprogrammierbare Steuerung PLC, SPS 3.2 mit sogenannten MCF-Blöcken (Motion Control
10 Numeric Control) auf. Letztere sind softwaretechnisch als auf dem PC ablaufende Programme ausgebildet und beinhalten jeweils eine Interpolationseinrichtung 3.1a, 3.2a, 3.3a, nach deren Taktvorgabe die jeweilige Steuerung 3.1, 3.2, 3.3 das speziell für sie geeignete (Bewegungs-)Programm
15 2.2, 2.3, 2.4 abarbeitet.

Zur Weiterverarbeitung der von der Interpolationseinrichtung 3.1a, 3.2a, 3.3a gelieferten Interpolationsdaten weist die erfindungsgemäße Vorrichtung 1 in ihrem Echtzeitbereich
20 3 weiterhin eine als "Motionmanager" bezeichnete Programmeinrichtung 5 auf. Der Motionmanager 5 besitzt eine nicht-echtzeitfähige Konfigurationseinrichtung, die in der Ausgestaltung gemäß der Fig. 1 nicht explizit dargestellt sondern mittels einer (gestrichelten) Verbindung 5.1 vom
25 Motionmanager 5 zu dem bereits erwähnten, auf der Nicht-Echtzeit-Ebene 2 des PC befindlichen Bedienungseinrichtung 2.1 dargestellt ist. Der Motionmanager 5 stellt den zentralen Bestandteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 dar und wird nachfolgend anhand der Fig. 2 und 3 noch detailliert
30 erläutert.

Der Motionmanager 5 besitzt weiterhin eine Bewegungs-Treiberschicht 5.2, z.B. eine DPRAM-Schnittstelle, mit Treibern 5.2a-5.2f zur Informationsübertragung an Funktionseinheiten
35 6 der Anlage, wie Antriebe 6.1a-6.1g, Stromquellen 6.2a-

6.2c oder dergleichen. Bei den Treibern 5.2a-5.2f kann es sich um DPRAM-Treiber, Ethernet-Treiber, PowerLink-Treiber, Sercos-Treiber, Ethercat-Treiber oder dergleichen handeln. Die Informationsübermittlung an die genannten Funktionseinheiten 6 der Anlage erfolgt über eine Anzahl von (Antriebs-)Bussen 8.1, 8.2, 8.3. Letztere umfassen zusätzlich noch weitere Elemente, wie Elemente zur digitalen Signalübertragung (DSE: Digital Signal Electronic) 6.3 oder weitere Echtzeit-Elemente (HRB: Hard Realtime Board) 6.4. Diese weiteren Elemente 6.3, 6.4 müssen nicht als eigenständige Hardware-Komponenten im Antriebsbus angeordnet sondern können auch als programmtechnische Einrichtungen innerhalb der PC-Steuerung vorhanden sein, wie beispielhaft anhand einer weiteren DSE 6.3' gezeigt.

Der Motionmanager 5 dient erfindungsgemäß dazu, die verschiedenen Steuerungen und Antriebe miteinander zu verbinden und deren Bewegungen zu koordinieren und zu synchronisieren, fungiert also im Rahmen der vorliegenden Erfindung als Synchronisations- und Koordinationseinrichtung. Für einen koordinierten Ablauf ist es erforderlich, die von den Steuerungen 3.1, 3.2, 3.3 kommenden Interpolationstakte IPO_i in einen Systemtakt des Motionmanagers 5 zu überführen und über eine weitere Zwischeninterpolation die Antriebsbusse im richtigen Takt mit den Informationen für die Antriebe 6.1a-g zu versorgen. Die hierzu erforderliche konkrete Ausgestaltung des Motionmanagers 5 zeigt die Fig. 2.

Die Fig. 2 zeigt detailliert den Aufbau eines Motionmanagers 5 gemäß der Fig. 1. Oben in Fig. 2 sind nochmals die bereits in der Fig. 1 gezeigten Maschinensteuerungen, nämlich die Robotersteuerung 2.2, die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS/PLC) 2.3 sowie die CNC-Steuerung 2.4 dargestellt. Jede dieser Steuerungen liefert Daten bei einem ihr eigenen Interpolations-Takt IPO_i , hier speziell den Inter-

polationstakten IPO_1 , IPO_2 , IPO_3 . Der Motionmanager 5 weist nun zunächst eine als obere Zwischeninterpolationsschicht 5.3 bezeichnete gemeinsame Interpolationseinrichtung für die IPO-Takte IPO_i auf, in der die Takte der unterschiedlichen Steuerungen 2.2-2.4 auf einen gemeinsamen Systemtakt t_{Tick} interpoliert werden. Dabei gilt für die Interpolatoren 3.1a, 3.2a, 3.3a oberhalb des Motionmanagers 5:

$$IPO_i = n_i \cdot t_{Tick}, \text{ mit } n_i = 1, 2, 3, \dots, \text{ d.h. diese Interpolatoren laufen mit einer größeren, vielfachen Zeiteinheit bezogen auf den Systemtakt } t_{Tick} \text{ des Motionmanagers 5.}$$

Weiterhin gilt für den Systemtakt t_{Tick} des Motionmanagers 5:

$$t_{Tick} = n \cdot RTACC, \text{ wobei } RTACC \text{ einen Quarztakt der Systemuhr angibt, der heute in der Regel } 125 \mu s \text{ für einen } 8 \text{ kHz-Quarz beträgt, wobei wiederum } n = 1, 2, 3, \dots \text{ Der konkrete Wert für } RTACC \text{ wird also direkt durch die verwendete Hardware vorgegeben.}$$

An die obere Zwischeninterpolationsschicht 5.3 schließt sich der eigentliche Kern 5.4 des Motionmanagers 5 an, der zur Durchführung bestimmter Aufgaben, wie Zustandsverwaltung, zyklische Überwachung, Messen, Diagnose, Initialisierung, Parametrisierung, Bewegung, zur Verwaltung von Tasks und Takten sowie zum Verwalten einer Konfigurations-Datenbank ausgebildet ist (Bezugszeichen 5.4a-i). Weiterhin weist der Motionmanager 5 eine als untere Zwischeninterpolationsschicht 5.5 bezeichnete Interpolationseinrichtung auf, die zum Verändern zeitrelevanter Aufgaben nach bestimmten Zeiteinteilungs-Tabellen (Timescheduling-Tabellen) ausgebildet ist. Die Timescheduling-Tabellen werden benötigt, um Tasks mit höherer Priorität, die längere Berechnungen erfordern, als ihnen die Zeitscheibe, z.B. eine Taktperiode, zur Verfügung stellt, über mehrere Zeitscheiben zu verlängern. Tasks niedriger Priorität werden unterbrochen bzw. verschoben, um die Tasks mit hoher Priorität zu Ende zu bearbeiten. Diese Timescheduling-Mechanismen

müssen so konfiguriert werden, dass das echtzeitfähige Runtime-System sicher läuft und die Steuerungsmechanismen immer prioritätsgesteuert ablaufen können. Dabei soll es keine Rolle spielen, in welchem Takt (erfindungsgemäß ein
5 Vielfaches des Systemtakts) ein bestimmter Interpolator läuft.

Die in der Fig. 1 angedeutete Konfigurationseinrichtung 2.1 (mit Verbindung 5.1; s.o.) schlägt dabei einen Interpolationstakt für jeden in der unteren Zwischeninterpolationsschicht 5.5 enthaltenen achsrelevanten Interpolator vor.
10 Die achsrelevanten Interpolatoren sind in der Fig. 2 nicht explizit dargestellt. Es handelt sich dabei um Interpolationseinrichtungen in der unteren Zwischeninterpolationsschicht 5.5, die gezielt Informationen bei bestimmten angepassten Takten an bestimmte Funktionseinheiten 6, wie beispielsweise einen Antrieb, liefern (vergleiche Fig. 1). An die untere Zwischeninterpolationsschicht 5.5 schließt sich
15 die bereits anhand der Fig. 1 beschriebene DPRAM-Antriebschnittstelle 5.2 mit den entsprechenden Treibern 5.2a-f für die Anlagen-Busse 8.1-8.3 an, wie ebenfalls bereits anhand der Fig. 1 detailliert beschrieben wurde.

Erfindungsgemäß kann das Einstellen des IPO-Taktes für den
25 jeweiligen achsrelevanten Interpolator und die dafür notwendige Zwischeninterpolation in der unteren Zwischeninterpolationsschicht 5.5 entweder manuell oder automatisch angenommen (bestätigt) werden. Weiterhin ist es möglich, dass einer der Antriebsbusse 8.1-8.3 bzw. die entsprechenden Funktionseinheiten dem Motionmanager 5 eine kürzere
30 Systemtaktzeit t_{Tick} vorschlägt. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn spezielle Regelverfahren, wie z.B. eine (PC-)Stromregelung, mit der beschriebenen PC-Steuerung über einen bestimmten Antrieb gefahren werden sollen. Bringt ein
35 Antriebsbus ein kürzeres Taktsignal als den Systemtakt t_{Tick}

mit, so "meldet sich" die entsprechende Antriebsachse beim Konfigurator 2.1, 5.1 (vergleiche Fig. 1) des Motionmanagers 5 mit der Nachfrage um Übernahme des kürzeren Systemtaktes, der im Folgenden als t_{Tick}' bezeichnet wird. Der Konfigurator kann dann mittels der Bestimmungseinrichtung 2.6 (Fig. 1) eine Belastung des Gesamtsystems bestimmen und entsprechend einen neuen Systemtakt t_{Tick}' vorschlagen, für den jedoch gilt: $t_{\text{Tick}}' = 1/n' \cdot t_{\text{Tick}}$. Dabei können einige Interpolatoren mit Hilfe der Zwischeninterpolationsschicht 5.5 nach dem bisherigen IPO-Takt t_{Tick} weitergefahren werden, wenn hier eine Notwendigkeit für eine verbesserte Regelschleife nicht gegeben ist. Auf diese Weise ist es im Einzelfall möglich, CPU-Ressourcen für die notwendigerweise kürzer getakteten Regelschleifen freizugeben. Die angegebenen Einstellungen für die Interpolatoren nach der Regel $n \cdot t_{\text{Tick}}$ bzw. $1/n' \cdot t_{\text{Tick}}$ sind deshalb notwendig, da im Rahmen einer effektiven Umsetzung der Erfindung jeweils nur eine einzige Zwischeninterpolationsschicht 5.3, 5.5 sinnvoll ist und alle vorhandenen Interpolatoren diese Zwischeninterpolationsschicht verwenden, wobei es möglich sein soll, die verschiedenen Interpolatoren der unterschiedlichen vorhandenen Geräte gleichzeitig aber mit unterschiedlichen Takten zu fahren, da beispielsweise ein RC-Interpolator wesentlich mehr kartesische und roboterspezifische Informationen pro Zeiteinheit übermitteln muss, als beispielsweise der Interpolator einer einfacheren SoftSPS.

Die Fig. 3a und 3b zeigen beispielhaft das erfindungsgemäße Zwischeninterpolationsverfahren bzw. die Funktion der Zwischeninterpolationsschichten 5.3 des Motionmanagers 5 der Fig. 2.

In der Fig. 3a ist beispielsweise zunächst der IPO-Takt t_{IPO1} des Interpolators 1 dargestellt, der beispielsweise dem Interpolator 3.1a der Steuerung 3.1 entspricht, während

in der Fig. 3b der IPO-Takt t_{IPO2} eines Interpolators 2 dargestellt ist, der beispielsweise dem Interpolator 3.2a der Steuerung 3.2 entspricht.

5 In der Mitte der beiden Fig. 3a, 3b ist jeweils der Takt t_{Tick} des Motionmanagers dargestellt, der für beide Fig. 3a, 3b übereinstimmt. Der Takt des Motionmanagers t_{Tick} ist jeweils ein Vielfaches der Interpolatortakte t_{IPO} , und zwar in den konkreten Ausführungsbeispielen das Dreifache
10 des Takts t_{IPO1} des Interpolators 1 und das Vierfache des Takts t_{IPO2} des Interpolators 2. In jeweils der letzten Zeile der Fig. 3a ist jeweils der Takt der Achstreiber 1 und 2 dargestellt, wobei der Achstreiber 1 der Fig. 3a dem Achstreiber 5.2a der Fig. 1, 2 und der Achstreiber 2 der Fig.
15 3b beispielsweise dem Achstreiber 5.2c der Fig. 1, 2 entsprechen mag.

Bei der Fig. 3a entspricht der Treibertakt t_{Drive1} des Achstreibers 1 dem Takt t_{Tick} des Motionmanagers, während bei
20 der Fig. 3b der Treibertakt t_{Drive2} des Achstreibers 2 halb so groß ist wie der Motionmanager-Takt t_{Tick} (also die Abstände zwischen Taktsignalen doppelt so lang sind).

Das erfindungsgemäße Verfahren ist nun derart: Der Interpolator 1 gibt in seinem Takt t_{IPO1} berechnete Befehle oder
25 Werte an den Motionmanager weiter. Dieser übernimmt die vom Interpolator 1 übergebenen Werte oder Befehle zu seinen t_{Tick} -Zeiten ..., t_{T-3i} ..., t_{T-3} , t_T , t_{T+3} , ..., t_{T+3i} , ..., wobei $i = 1, 2, 3$..., während er zu seinen gegenüber dem
30 IPO-Takt t_{IPO1} des Interpolators 1 gegebenen Zwischenzeiten ..., t_{T-3n-2} , t_{T-3n-1} , ..., t_{T-2} , t_{T-1} , t_{T+1} , t_{T+2} , t_{T+4} , t_{T+5} , ..., t_{T+3n+1} , t_{T+3n+2} , ..., auf diese seine Zwischentaktwerte eine Interpolation der übergebenen Werte oder Befehle vornimmt, d.h. diese für die genannten Taktzeiten neu berechnet und,
35 bei der Ausgestaltung der Fig. 3a mit seinem Takt, d.h.

auch zu seinen Taktzeiten und mit dem identischen Takt des t_{Drive1} des Achstreibers 1 und damit den identischen Taktzeiten an den Achstreiber 1 übergibt, der damit die entsprechende Funktionseinheit steuert (Fig. 1, 2).

5

Entsprechendes gilt für die vom Interpolator 2 abgegebenen Steuerungsbefehle oder -werte, wobei hier der Motionmanager diese nicht mit seinem Takt t_{Tick} übergibt (indem sie interpoliert und damit neu berechnet werden), sondern mit dem

10

halben Takt entsprechend dem Takt T_{Drive2} des Achstreibers 2 und damit beispielsweise zu Zeiten $t_{T-4} = t_{2,m-2}$, $t_{T-2} = t_{2,m-1}$, $t_T = t_{2,m}$, $t_{T+2} = t_{2,m+1}$, $t_{T+4} = t_{2,m+2}$, ...

15

Sowohl die Vervielfachung vom Interpolatortakt zum Motionmanagertakt als auch die Teilung zum Achstreibertakt kann jeweils beliebig sein, wobei der Motionmanagertakt t_{Tick} jeweils der höchste Takt und ein Vielfaches sämtlicher anderer Takte ist.

20

Die Fig. 4 zeigt detailliert die Steuerungsarchitektur einer PC-Steuerung zum Steuern einer komplexen Anlage mit wiederum einem nicht-echtzeitfähigen 2 und einem echtzeitfähigen Teil 3, die mehrere voneinander unabhängige Maschinensteuerungen 3.1, 3.2, 3.3 verwalten und über verschiedene

25

ne Treiber und Bussysteme eine Vielzahl unterschiedlicher Funktionseinheiten, wie Antriebe, Sensoren, Ein- und Ausgabevorrichtungen und Peripheriegeräte ansprechen kann.

30

Die bereits in der Fig. 1 gezeigten Bedienungseinrichtungen 2.1 sind in der Darstellung der Fig. 2 detailliert in Programmierwerkzeuge 2.1a, Diagnosewerkzeuge 2.1b, Steuerungsoftware 2.1c sowie Mensch-Maschinen-Schnittstellen (HMIs) zu Steuerungszwecken 2.1d aufgeschlüsselt. Weiterhin umfasst der nicht-echtzeitfähige Teil 2 der PC-Steuerung

35

einen Treiber 2.5, beispielsweise ein Windows-Treiber, des-

sen Funktion weiter unten erläutert wird. Über einen Programmdaten-Router 3.4 gelangen die in den Interpolations-einrichtungen 3.1a, 3.2a, 3.3a der Maschinensteuerungen 3.1, 3.2, 3.3 erzeugten Programmdaten zu dem vorstehend detailliert erläuterten Motionmanager 5 bzw. weiteren, entsprechend ausgestalteten Managereinrichtungen für Sensoren (Sensormanager 5'), Ein- und Ausgabeeinrichtungen (I/O-Manager 5'') und zusätzliche Peripheriegeräte (Peripherie-manager 5⁽³⁾). Diese liefern entsprechende Treiberinformationen über einen Busdaten-Router 7 an eine Anzahl von Bussen 8.1, 8.2, 8.3, die jeweils einen eigenen Treiber 8.1a, 8.2a, 8.3a aufweisen. An die Busse 8.1-8.3 sind - wie bereits erwähnt - Funktionseinheiten 6 der zu steuernden Anlage angeschlossen (vergleiche Bezugszeichen 6.1x, 6.2x in Fig. 1 und 2), beispielsweise Antriebe A1 bis A6, Sensoren S1 bis S6, Antrieb A7, Antrieb A8, Peripheriegeräte P1, Ein- und Ausgabeeinrichtungen I/O1, Sensor S7, Antrieb A9, Ein- und Ausgabeeinrichtungen I/O2 sowie Peripheriegeräte P2. Als Peripheriegeräte sind z.B. Spiegelmotoren für Galvos (zum Ablenken von Lasereinheiten) oder kleine, schnelle Antriebsachsen zu nennen. Es können auch schnelle Eingänge über einen schnellen Echtzeittreiber realisiert werden, der z.B. Positionen auf einer Achse puffert, die nicht im gleichen Antriebsstrang liegen. Die Managereinrichtungen 5, 5', 5'', 5⁽³⁾ beinhalten entsprechende Treiber 5.2a, 5.2b, 5.2a', 5.2b', 5.2a'', 5.2a⁽³⁾, 5.2b⁽³⁾. Der Treiber 2.5 dient zur Steuerung des Busdaten-Routers 7. Weiterhin übernimmt der Treiber 2.5 die Meldungsbereitstellung der Daten aus der Schnittstelle unter den Interpolatoren. Die Interpolatoren melden ihre Echtzeit-Diagnosedaten über die entsprechende Steuerung an die nicht-echtzeitfähige Umgebung, beispielsweise eine Windows-Umgebung. Die Antriebsdaten der Achsen werden direkt über den Windows-Treiber 2.5 der Windows-Ebene 2 zu Diagnosezwecken bereitgestellt. D.h. alle Daten aus dem Antriebsstrang, die nicht-echtzeitfähig

in der Windows-Welt abfragbar sind, werden über diese "Meldungsschnittstelle" zur Verfügung gestellt.

Unter Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. des
5 erfindungsgemäßen Verfahrens besteht somit in einfacher und
effizienter Weise die Möglichkeit, z.B. drei Achsen eines
Sechssachs-Industrieroboters (RC) über die in den Fig. 1 und
2 gezeigten DSE-Treiber, weitere zwei Roboterachsen über
einen Ethernet-Treiber und die sechste Roboterachse über
10 Ethercat (Ethernet for Controll Automation Technology) zu
betreiben. Weiterhin ist es auf diese Weise möglich, paral-
lel zur beschriebenen RC-Welt auch die CNC-Welt mit zuge-
ordneten Achsen 1 bis 20 synchroner oder asynchroner Servo-
motoren über Sercos-Treiber und Achsen 21 bis 24 über den
15 Ethernet-Treiber anzusteuern. Zusätzlich kann die (Soft-) SPS
zugeordnete Achsen 1 bis 8 über den DSE-Treiber und
weitere Achsen 9 bis 12 über Sercos-Treiber ansteuern. Eine
solche Konfiguration muss vor der erstmaligen Verwendung
manuell über den Motionmanager 5 konfiguriert werden, bei-
20 spielsweise unter Verwendung der dargestellten Bedienungs-
einrichtung 2.1, 5.1.

Die weiterhin oben genannten Aufgaben des Motionmanagers 5
sind wie folgt charakterisiert:

25

a) Initialisierung

Der Motionmanager 5 kann als Steuerungsbasis betrachtet
werden. Bei seinem Bootvorgang werden die zentralen
30 Systemdienste und Einstellungen initialisiert.

b) Kleinster Grundtakt (Tick)

Der Systemgrundtakt (in μ s) wird über den Motionmana-
35 ger 5 konfiguriert. Die Taktquelle kann ein externer

Interupt (z.B. SERCOS-Karte) sein. Alle anderen Takte im System müssen ganzzahlige Vielfache des Systemgrundtaktes, t_{Tick} , sein.

5 c) Konfigurations-Datenbank

Der Motionmanager 5 lädt zuerst sämtliche konfigurier-
ten Achstreiber. Anschließend legt jeder Achstreiber
für seine konfigurierten Achsen Achsobjekte an. Nach
10 den Achstribern lädt der Motionmanager 5 die Interpo-
latoren in der unteren Zwischeninterpolationsschicht
5.5 und initialisiert diese. Die Zuordnung der Achsen
zu den Interpolatoren kann erstmalig bei deren Initia-
lisierung stattfinden und zur Laufzeit umkonfiguriert
15 werden.

d) Zyklische Überwachung

Der Motionmanager 5 synchronisiert den Hochlauf der
20 verschiedenen Module (Achstreiber/Interpolatoren) über
eine State-Machine und überwacht die Interpolatoren
zyklisch.

e) Parametrisierung

25 Der Motionmanager 5 ordnet logische Achsen einem Inter-
polator zu. Für Achsverbände (gekoppelte Achsen) kann
konfiguriert werden, dass diese Achsen nur im Verbund
einem Interpolator zugeordnet werden können.

30

f) Diagnosefunktionen (Trace)

Die Achstreiber erhalten eine Schnittstelle, über die
eine Trace-Konfiguration eingelesen werden, ein Trace
35 gestartet, gestoppt oder getriggert werden kann. Die

Konfiguration und die Datenspeicherung sind achstreiber-spezifisch. Ein synchrones Tracen über mehrere Achstreiber ist nicht möglich.

5 g) Messen

Die Funktionalität schnelles Messen, Conveyor (antriebslose Achse) und sog. Touchsense müssen in einer separaten Funktionalität mit den Interpolatoren synchronisiert werden.

h) Zustandsverwaltung

Der Motionmanager 5 verwaltet die Zustände der Bremsen und Reglerfreigaben. Dazu müssen die Interpolatoren Aufträge zur Regler- und Bremsenfreigabe absetzen. Der Motionmanager sorgt für eine Konsistenzprüfung. Achsen, die am gleichen Bremskanal hängen, werden gegebenenfalls vom Motionmanager 5 auf "in Regelung" gesetzt.

i) Bewegung

Folgende Bewegungsarten sind zu synchronisieren:

25 zyklische Daten (Soll-Werte)
- Position
- Geschwindigkeitsvorsteuerung
- Momentenvorsteuerung

zyklische Daten (Ist-Werte)
30 - Position
- Geschwindigkeit
- Strom (Moment)

nicht zyklische Daten
- Reglerfreigabe
35 - Bremsenfreigabe

- Parametersatz-Auswahl
- Überwachungsgrenzen.

Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung ist es möglich, Positionswerte der Roboterwelt, beispielsweise eine Position der Werkzeugspitze (TCP: Tool Center Point) mit Bewegungen der CNC- oder PLC-Welt zu mischen oder zu synchronisieren. Beispielsweise kann ein in kartesischen Koordinaten gegebener TCP eines Roboters mit allen zeitrelevanten Steuersignalen über den Motionmanager der CNC- oder der SoftSPS-Welt ohne Zeitverzögerungen im Takt der Interpolatoren zur Verfügung gestellt werden. Entsprechend ist es jedoch auch möglich, die Einzel- oder Mehrfachachsen-Signale der CNC- oder SPS-Welt dem Roboterinterpolator zur Verfügung zu stellen. Derartiges Mischen der verschiedenen Motionwelten führt zu einer erheblichen Vereinfachung der Anlagenprogrammierung, beispielsweise über die HMI-Welt.

Weiterhin ist eine Verändern der Interpolationstakte für alle Motionwelten in einem Zug möglich. Auf diese Weise können einige wenige Achsen mit genauer Bahnplanung und sehr kurzem Interpolationstakt gefahren oder durch Andocken weiterer Achsen der Interpolator bezüglich einer Bewegungsanforderung angepasst werden. Folgendes Szenario ist erfindungsgemäß möglich: Nach Anschluss z.B. mehrerer Sercos-Antriebe meldet sich der Antriebsregler eines bestimmten Antriebs über den speziellen Treiber durch den Zwischeninterpolator am Motionmanager an mit der Mitteilung, dass ein 125µs-Takt als Taktung auf dem Antriebsbus über einen Antriebsstrang möglich ist. Nur der Motionmanager kennt die Gesamtanlage und kann durch eine State-Machine kontrollieren, ob die untere Zwischeninterpolationsschicht so umgestaltet werden kann, dass der genannte Takt über den Motionmanager und den entsprechenden Interpolator möglich ist oder nicht (Systemauslastung bei z.B. 100 Achsen).

Hierzu ist dem Motionmanager die Systemlast bekannt, so dass hier auch eine Automatisierung (Hochschalten der Zwischeninterpolatoren) realisierbar ist.

- 5 In diesem Zusammenhang ist auch ein An- und Abkoppeln bzw. eine Übergabe von Einzelachsen an einen anderen Motionkern möglich, z.B. aufgrund einer Verwendung von Ethercat. Dies bedeutet im Zuge einer automatisierten Umorganisation einer Anlage oder im Fehlerfalle eine enorme Erleichterung für
- 10 den Betreiber. Darüber hinaus ist bei Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens ein Ein- oder Aussynchronisieren, beispielsweise eine TCP- oder Werkzeug-Übergabe, innerhalb einer Anlage von einem Roboter in die CNC-Welt oder zu einem SPS-
- 15 Bandvorschub einfach realisierbar.

Auch eine Bewegungssteuerung im Falle kooperierender Roboter und/oder Anlagen ist mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich.

Bezugszeichenliste

	1	Vorrichtung
	2	nicht-echtzeitfähiger Teil
	2.1	Bedienungs-, Programmiereinrichtung
5	2.1a	Programmierwerkzeug
	2.1b	Diagnosewerkzeug
	2.1c	Steuerungssoftware
	2.1d	Steuerungs-HMI
	2.2	Roboter-Code
10	2.3	SPS-Code
	2.4	G-Code
	2.5	(Windows-)Treiber
	2.6	Bestimmungseinrichtung
	3	echtzeitfähiger Teil
15	3.1	Robotersteuerung
	3.1a	Roboter-Interpolator
	3.2	SPS
	3.2a	SPS-Interpolator
	3.3	CNC
20	3.3a	CNC-Interpolator
	4	TCP/IP-Protokoll
	5	Motionmanager
	5'	Sensormanager
	5''	I/O-Manager

	5 ⁽³⁾	Peripherie-Manager
	5.1	Verbindung
	5.2	Bewegungs-Treiberschicht
	5.2a-f	Treiber
5	5.3	obere Zwischeninterpolationsschicht
	5.4	Managerkern
	5.5	untere Zwischeninterpolationsschicht
	6	Funktionseinheiten
	6.1a-g	Antriebe
10	6.2a-c	Stromquellen
	6.3, 6.3'	DSE
	6.4	HRB
	7	Busdaten-Router
	8.1, 8.2, 8.3	Bus
15	8.1a, 8.2a, 8.3a	Bustreiber
	A1-A9	Antrieb
	I/O1, I/O2	Ein- und Ausgabeeinrichtungen
	IPO _i	Interpolations-Takt
	n, n _i , n'	natürliche Zahl (1, 2, 3, ...)
20	PC	Personalcomputer
	P1, P2	Peripherie
	RTACC	Quarztakt
	S1-S7	Sensor
	t _{Tick} , t _{Tick} '	Systemtakt
25		

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben zusammenarbeitender, auch unterschiedlicher Geräte, insbesondere einer Anlage, mit diese durch Steuerungsabläufe steuernden unterschiedlichen Steuerungen, insbesondere mit unterschiedlichen Steuerungstakten, dadurch gekennzeichnet, dass die Takte der unterschiedlichen Steuerungen auf einen gemeinsamen Systemtakt (t_{Tick}) interpoliert werden und dass die Steuerungsabläufe in mindestens einer Synchronisationseinrichtung synchronisiert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Funktionseinheiten der Anlage nach erfolgter Synchronisierung nach einer weiteren Interpolation mit Steuerungssignalen versorgt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die unterschiedlichen Steuerungstakte der unterschiedlichen Steuerungen gemäß einer Beziehung

$$IPO_i = n_i \cdot t_{\text{Tick}}, \quad n_i = 1, 2, 3, \dots$$

gewählt werden, wobei t_{Tick} ein ganzzahliges Vielfaches eines Taktes einer zur Durchführung des Verfahrens ver-

wendeten Hardware ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Interpolation auf einen gemeinsamen Systemtakt in einer gemeinsamen Interpolationseinrichtung für eine Steuerung erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass Achsen der Geräte koordiniert werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisierung und/oder Koordinierung in Echtzeit durchgeführt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass einer Koordinierungseinrichtung durch die Funktionseinheiten ein veränderter Systemtakt vorgeschlagen wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Koordinierungseinrichtung den veränderten Systemtakt annimmt oder ablehnt.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass für den veränderten Systemtakt gilt:

$$t_{\text{tick}}' = 1/n' \cdot t_{\text{tick}}, \quad n' = 1, 2, 3, \dots$$

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine Anzahl von Funktionseinheiten nach erfolgter Taktänderung nach dem alten Systemtakt weiterbetrieben werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils eine Mehrzahl von Geräten eines bestimmten Gerätetyps betrieben wird.
- 5 12. Vorrichtung zum Betreiben zusammenarbeitender, auch unterschiedlicher Geräte, insbesondere einer Anlage, mit diese durch Steuerungsabläufe steuernden unterschiedlichen Steuerungen, insbesondere mit unterschiedlichen Steuerungstakten, gekennzeichnet durch mindestens eine
10 gemeinsame Interpolationseinrichtung (5.3) für die Steuerungen (3.1, 3.2, 3.3) zum Interpolieren der Takte (IPO_i) der unterschiedlichen Steuerungen (3.1, 3.2, 3.3) auf einen gemeinsamen Systemtakt (t_{tick}) und mindestens eine Synchronisationseinrichtung (5) zum Syn-
15 chronisieren der Steuerungsabläufe.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, gekennzeichnet durch zumindest eine weitere Interpolationseinrichtung (5.5) zum Interpolieren von Steuersignalen für Funktionsein-
20 heiten (6.1a-g) der Geräte nach erfolgter Synchronisierung.
14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, gekennzeichnet durch eine Koordinationseinrichtung (5) zum Koordinieren der Steuerungsabläufe.
25
15. Vorrichtung einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung (5) echtzeitfähig sind.
30
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, gekennzeichnet durch eine nicht-echtzeitfähige Komponente (2.1) zum Verändern von Einstellungen der Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung (5).
35

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung (5) und eine Anzahl von Steuerungen (3.1, 3.2, 3.3) als auf einer gemeinsamen Rechneinheit (PC) ausführbare Programmeinrichtungen ausgebildet sind.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass weitere Geräte während des Betriebs anschließbar sind.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die gemeinsame Interpolationseinrichtung (5.3) zum Interpolieren von Steuerungstakten der Form

$$IPO_i = n_i \cdot t_{\text{Tick}}, \quad n_i = 1, 2, 3, \dots$$

ausgebildet ist, wobei t_{Tick} ein ganzzahliges Vielfaches eines Taktes einer verwendeten Hardware ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung (5) zum Verändern des Systemtakts (t_{Tick}) auf Anfrage durch wenigstens eine Funktionseinheit (6.1a-g) ausgebildet ist, wobei für den veränderten Systemtakt (t_{Tick}') gilt:

$$t_{\text{Tick}}' = 1/n' \cdot t_{\text{Tick}}, \quad n' = 1, 2, 3, \dots$$

30

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisations- und/oder Koordinierungseinrichtung (5) eine Bestimmungseinrichtung (2.6) zum Bestimmen einer Belastung des Systems aufweist, deren

Ergebnis für die Veränderung des Systemtakts (t_{Tick}) maßgeblich ist.

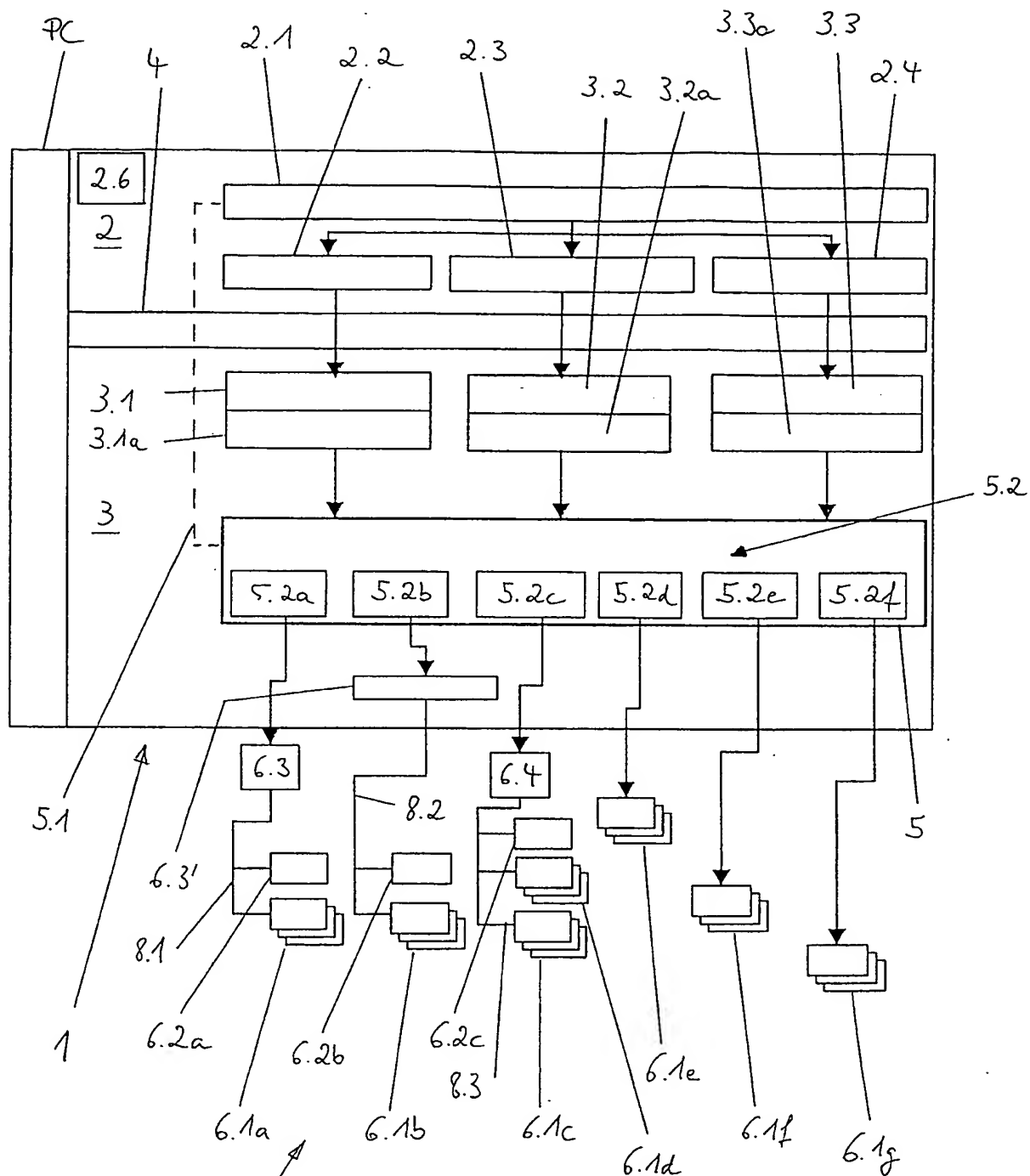
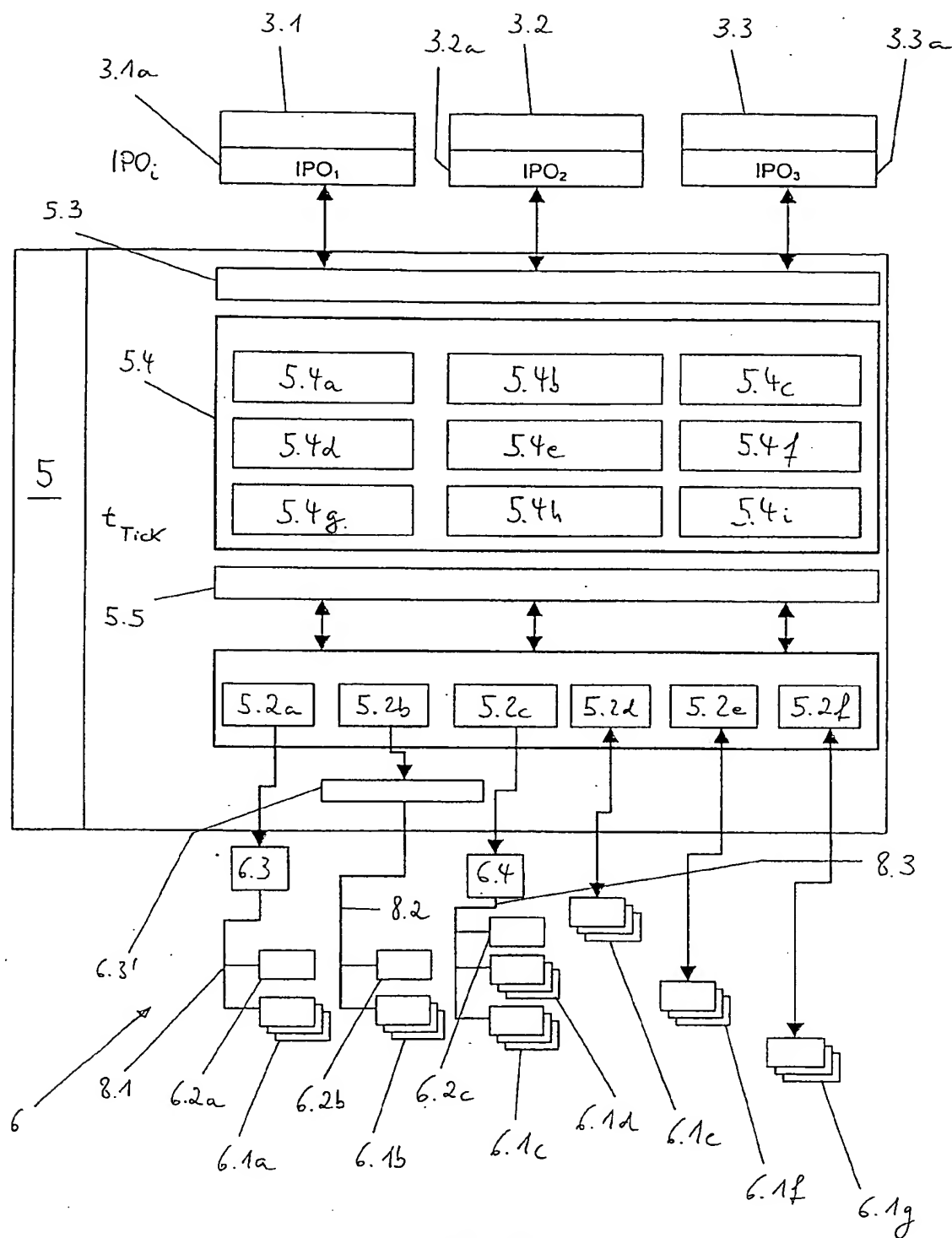


Fig. 1

**Fig. 2**

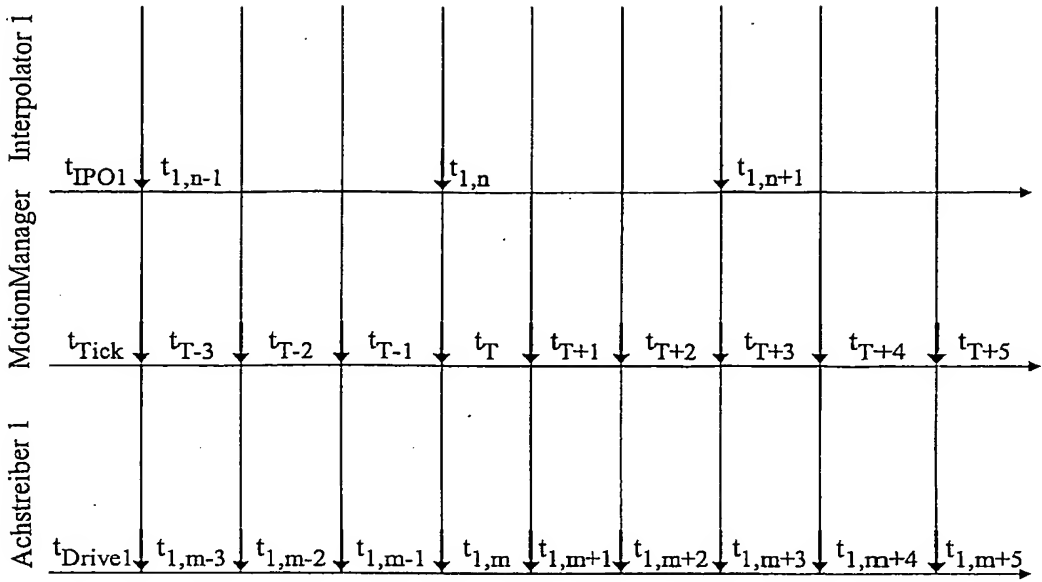


Fig. 3a

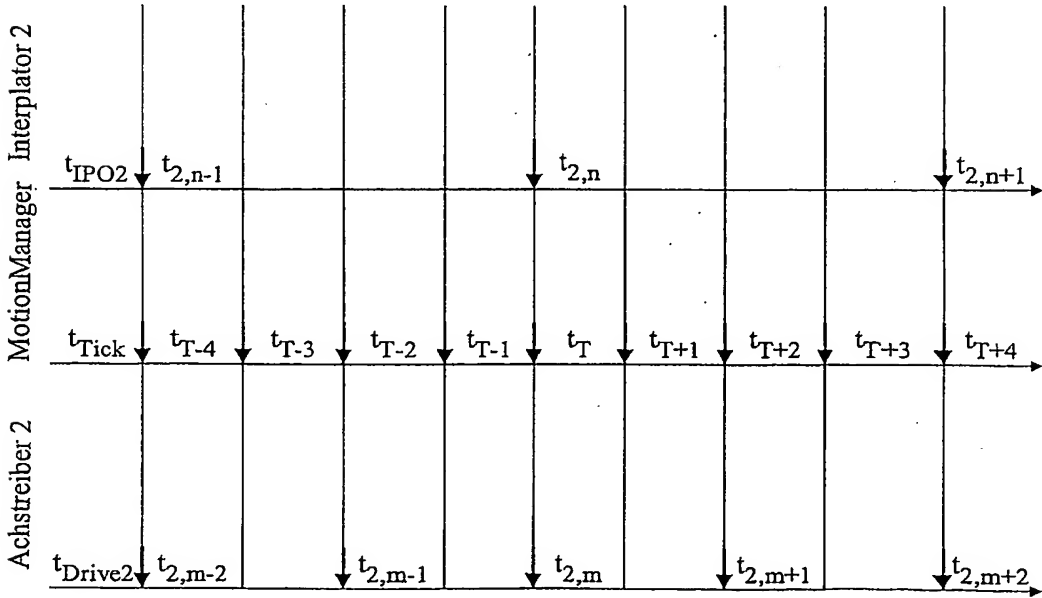


Fig.3b

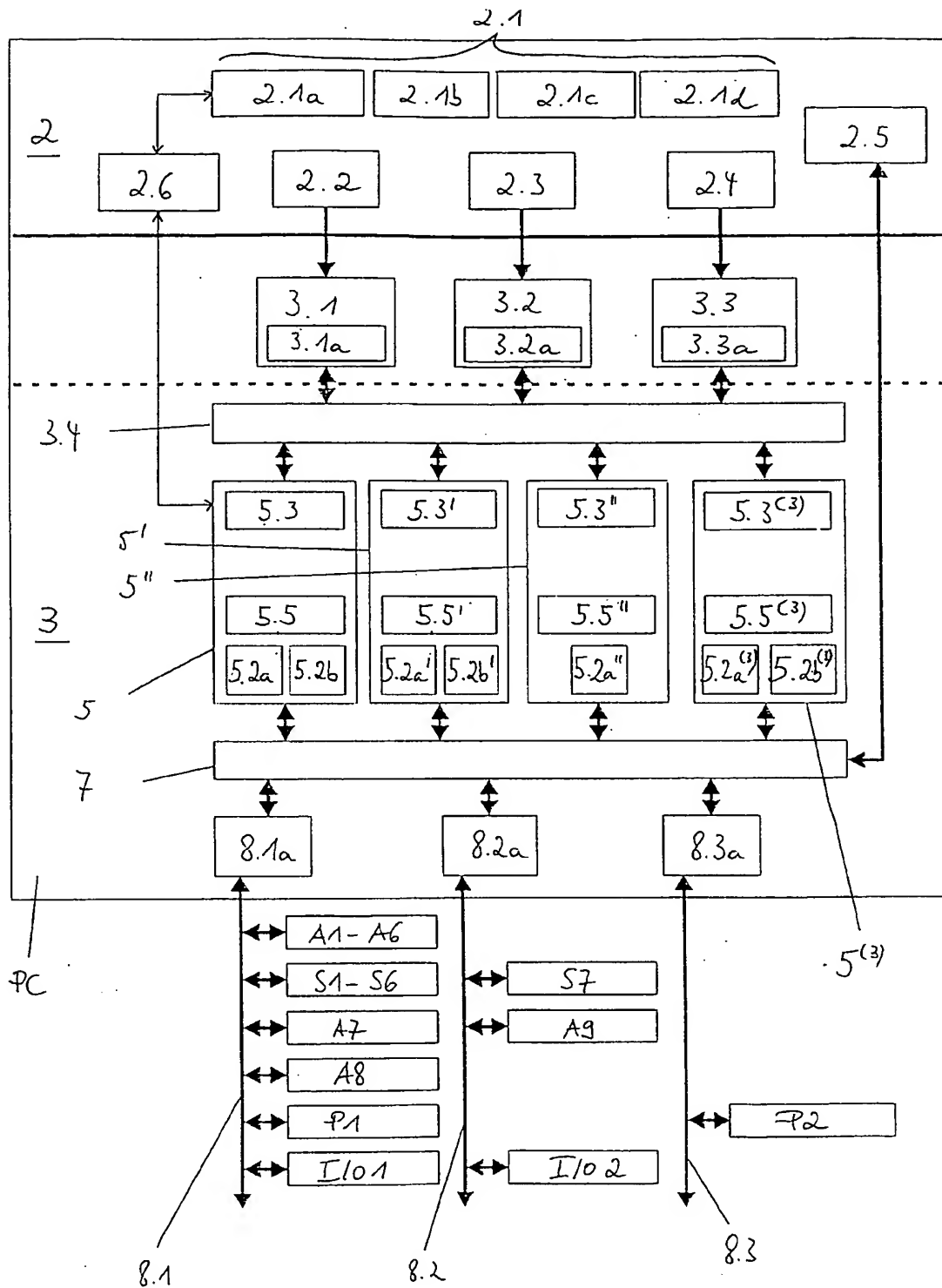


Fig. 4